

CAPITOLUL 1

SUPORT TEORETIC NECESAR ÎNȚELEGERII LUCRĂRILOR PRACTICE

1.1. Caracteristici structurale și funcționale ale sistemului cardio-vascular.

Sistemul cardio-vascular îndeplinește o funcție vitală pentru organism: transportul prin sânge al gazelor și substanțelor nutritive către țesuturi și preluarea de la acestea a produșilor de metabolism, care vor fi vehiculați spre organele de eliminare. Sistemul cardio-vascular este format din **inimă și sistemul vascular**.

Inima sau cordul este un mușchi cavităar care funcționează ca o pompă biologică a cărei activitate contractilă este esențială pentru asigurarea diferenței de presiune necesare circulației sângelui.

Inima este constituită din două formațiuni contractile separate, *mușchiul atrial mai redus și mușchiul ventricular* mai bine reprezentat, fixate pe un schelet fibros, ambele constituind **miocardul contractil** (termeni sinonimi: miocard adult sau de lucru). Cordul uman are 4 cavități: **2 atrii** despărțite de septul interatrial și **2 ventricule** despărțite de septul interventricular. Între atrii și ventricule se găsesc orificiile atrio-ventriculare, delimitate de valvele atrio-ventriculare.

În peretele inimii, în afară de fibrele miocardice contractile, adulte, mai există și fibre musculare embrionare dotate cu automatism, specializate în generarea și conducerea impulsurilor excitatorii. Totalitatea acestor structuri specializate în geneza și conducerea impulsurilor excitatorii, constituie **țesutul sau sistemul excitoconductor** (termeni sinonimi: țesut nodal sau embrionar).

Sistemul sau țesutul excitoconductor (SEC) este format din fibre musculare modificate, diferite ca structură și funcție de cele contractile. Astfel, principalele diferențe sunt:

- **morfologice** - fibrele SEC păstrează unele caractere embrionare: celule mici, sarcoplasmă abundentă, nucleii voluminoși, aproape lipsite de miofibrile, cu sistem de tuburi T și discuri intercalare slab dezvoltate, bogate în glicogen și ATP etc.;
- **fiziologice**:
 - SEC prezintă un potențial de repaus inconstant, instabil numit *potențial diastolic maximal și o depolarizare lentă diastolică*, care atunci când atinge un anumit prag (potențialul prag) declanșează potențialul de acțiune (PA);
 - mai prezintă și *conductibilitate membranară particulară*, care conferă proprietatea de a se autoexcita generând stimuli. Celulele care posedă aceste proprietăți sunt celulele *pacemaker (P)*, care induc activitatea contractilă ritmică a inimii, independentă de inervație și *celule de tranziție (T)* care transferă excitația către fibrele miocardice contractile.

La om, sistemul excitoconductor, specific, este grupat în **noduli, tracturi și fascicule** dispuse la nivelul atrilor și ventriculelor astfel (figura 1.1.):

1. **Nodulul sinoatrial (NSA) – KEITH-FLACK** este situat în peretele superoposterior al atrului drept, aproape de locul de vărsare al venei cave superioare, imediat sub endocard. Este vascularizat de o arteră, situată în centrul formațiunii, care în cele mai multe cazuri provine din coronara dreaptă, sau din circumflexa stângă. Inervația este realizată predominant de fibre **parasimpatice provenind din vagul drept**, a căror stimulare produce *scăderea*

frecvenței cardiace (efect cronotrop negativ) și din fibre simpatice – provenite din simpaticul drept, a căror stimulare produce creșterea frecvenței cardiace (efect cronotrop pozitiv).

NSA conține celule nodale - **P (pace-maker)** care au capacitatea de a genera stimuli în mod ritmic și celule T, de tranziție care conduc stimulii la miocardul atrial.

Deoarece celulele P din NSA au cea mai mare frecvență de generare a stimulilor, ele preiau comanda cordului, NSA devenind **centru primar de automatism** iar ritmul generat în acest nodul purtând numele de **ritm sinusal**.

2. **Nodulul atrioventricular (NAV) – ASCHOFF-TAWARA**, situat în porțiunea infero-posterioară a septului interatrial, în zona denumită anatomic triunghiul lui Koch, are formă de cordon alungit, mai larg în porțiunea superioară. În peste 85% din cazuri este vascularizat de o ramură a arterei coronare drepte și în 15% din cazuri de o ramură a arterei circumflexe stângi, artera fiind dispusă excentric față de nodul. Inervația parasimpatică provine din fibre ale vagului stâng, a căror stimulare produce *alungirea conducerii atrioventriculare* (efect dromotrop negativ), cu apariția de blocuri, iar cea simpatcă provine din fibre ale simpaticului stâng, a căror stimulare are efect dromotrop pozitiv.

În condiții fiziologice, când inima este condusă de NSA, NAV nu generează stimuli, adică nu este centru de automatism. În aceste condiții, NAV are rolul de a conduce stimulii primiți de la NSA, cu o întârziere fiziologică de 0,10 sec. permițând *desincronizarea activității contractile atriale de cea ventriculară, pentru o bună umplere cu sânge a cavităților ventriculare*.

În condiții patologice, când NSA este lezat sau căile de legatură dintre cei 2 noduli sunt întrerupte, celulele P din NAV preiau funcția de pacemaker pentru întreaga inimă, devenind centru de automatism.

Aici se generează ritmul nodal, cu o frecvență de 40 – 50 s/min

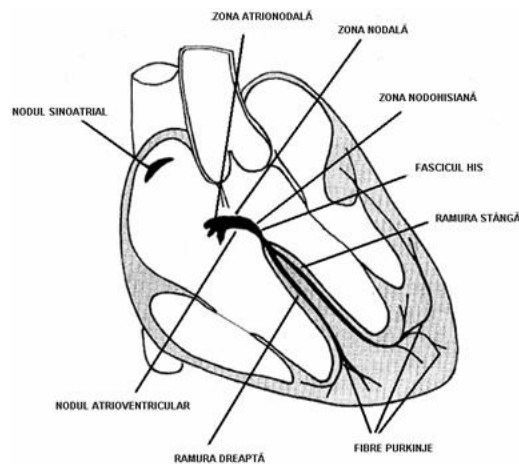


Figura 1.1. Nodulii de automatism la cordul uman (după M. Sabău, 1999)

De la NSA la NAV, excitația este condusă prin fascicule, tracturi specializate, care realizează o conducere preferențială, rapidă față de celulele atriale adulte, care au și ele proprietatea de a conduce, dar cu viteză mult mai mică. (figura 1.2.)

- **tractul internodal anterior** cu două ramuri, una descrisă de Bachman care face legătura între NSA și partea anterioară a atriului stâng și alta descendentă care trece prin septul interatrial până la NAV;
- **tractul internodal mijlociu** (Wenckebach) merge direct la NAV.

- **tractul internodal inferior al lui Thorel** care coboară de la partea inferioară a NSA la peretele posterior al atrului drept până la partea laterală a NAV (calea principală internodală). O ramură a acestui fascicul, descrisă de James ocolește nodulul atrioventricular și se termină în porțiunea inferioară a acestuia, excitația ajungând mai repede la ventricul. Totodată se constituie substratul anatomic pentru tracturile de bypass, prin care se realizează o conducere accelerată.
- 3. **Fasciculul His** ia naștere din porțiunea inferioară a nodulul atrioventricular, are un trunchi comun lung situat pe suprafața superioară dreaptă a septului interventricular, apoi se divide în două ramuri: ramura dreaptă, mai lungă și mai subțire, care se desfășoară printr-o rețea la nivelul ventriculului drept și ramura stângă, care, după ce perforează septul interventricular se divide la rândul ei într-un ram posteroinferior și unul anterosuperior, fiecare dintre acestea dând apoi naștere unei rețele complete care se distribuie ventriculului stâng.
- 4. **Rețeaua Purkinje**, este constituită din ultimele ramificații ale țesutului specific. Fibrele ei pătrund profund în grosimea miocardului ventricular, conectându-se intim cu fibrele miocardice contractile. Distribuția anatomică, precum și starea funcțională a sistemului His-Purkinje sunt esențiale pentru sincronizarea contracției ventriculare. Funcția principală a fasciculului His și a rețelei Purkinje este de a conduce stimulii la nivelul cordului cu viteze mari, comparativ cu viteza mică de conducere prin miocardul contractil, unde conducerea se face din aproape în aproape, de tip "ephaptic".

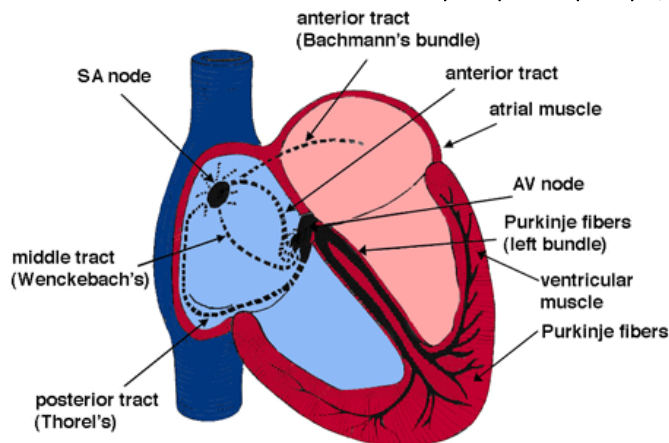


Figura 1.2. Nodulii de automatism și căile internodale.

Sursa:

<http://www.vhlab.umn.edu/atlas/physiology-tutorial/the-human-heart.shtml>

Miocardul contractil, adult, este constituit din fibre miocardice care prezintă proprietatea de a se contracta sub influența stimulilor elaborați și transmiși de țesutul excitoconductor. Activitatea inimii constă dintr-o **sucesiune ritmică de contracții (sistole) și relaxări (diastole), o sistolă urmată de diastolă constituind un ciclu cardiac**. Deși activitatea inimii este continuă, mușchiul cardiac nu obosește niciodată pentru că în diastolă, care durează mai mult decât sistola, se reface potențialul energetic necesar contracției, sistolei următoare. Contracția mușchiului cardiac este relativ puternică, asemănându-se din acest punct de vedere cu cea a mușchiului striat scheletic. În timpul contracției se produce activ propulsarea sângelui din cavitățile cordului, astfel încât inima poate fi comparată cu o pompă aspiratoare – respingătoare.

1.2. Proprietățile funcționale, fundamentale ale miocardului sunt:

- **automatismul** (funcția cronotropă, cronotropismul), funcție specifică celulelor P din țesutul excito-conductor;
- **excitabilitatea** (funcția batmotropă, batmotropismul), funcție comună celor două tipuri de miocard;

- **conductibilitatea** (funcția dromotropă, dromotropismul), funcție comună celor două tipuri de miocard;
- **contractibilitatea** (funcția inotropă, inotropismul), funcție specifică fibrelor miocardice contractile, adulte;
- **tonicitatea** (funcția tonotropă, tonotropismul), funcție specifică fibrelor miocardice contractile, adulte.

Automatismul (funcția cronotropă, cronotropismul)

- Suportul morfologic al automatismului cardiac este țesutul excitoconductor. Pentru cordul normal nodulul sinoatrial (NSA) reprezintă **centrul normal, fiziologic, primar de automatism**, care comandă activitatea întregii inimi, stimulii elaborați aici transmițându-se întregii musculaturii atriale și ventriculare. Frecvența de emisie a NSA în inima izolată nervos, este în jur de **120 de stimuli/minut**, la om. În organism, în inima cu legăturile nervoase păstrate, prezența acțiunii inhibitorii permanente a **parasimpaticului – frâna vagală, face ca frecvența de emisie a acestui nodul să fie de 60-100 stimuli/minut, acesta fiind ritmul sinusal normal**. În cazul în care se modifică tonusul vegetativ, se poate produce o creștere a frecvenței – tahicardie sinusală, cum se întâmplă în simpaticotonii, sau o scădere a frecvenței – bradicardie sinusală, cum se întâmplă în parasimpaticotonii.
- Dacă activitatea acestui centru primar de automatism din nodulul sinoatrial încetează (distrugerii, blocaje medicamentoase), sau este blocată transmiterea stimulului (bloc sinoatrial), atunci comanda inimii poate fi preluată de **centrul secundar de automatism cu sediul în nodulul atrioventricular (NAV)**. Acest centru elaborează stimuli cu o frecvență de 40-60/minut, ritmul numindu-se **ritm nodal**. După zona din nodulul atrioventricular care generează stimulii pot exista trei ritmuri nodale: supranodal cu originea în partea superioară a nodulului, mezonodal cu originea în partea mijlocie a nodulului și infranodal cu originea în partea inferioară a nodulului, fiecare dintre aceste ritmuri anormale având expresii grafice distincte pe ECG. În ritmul nodal, indiferent de locul genezei stimulilor, transmiterea stimulului se face și la atriile, dar acestea sunt activate de jos în sus, invers față de situația normală.
- Dacă și centrul secundar de automatism își încetează activitatea sau este blocată transmiterea stimulului sinusal la ventriculi (bloc atrioventricular complet), atunci la nivelul ventriculilor, *în fasciculul His, ramurile sale sau ale rețelei Purkinje, poate lua naștere un centru terțiar de automatism*. Acesta elaborează stimuli cu o frecvență de 25-40/minut, sau chiar mai puțin, care determină contracția ventriculilor, dar nu se transmit retrograd și la atriile. Acesta este **ritmul idioventricular**.

În același context mai trebuie precizat că, în condiții patologice se pot forma focare ectopice de automatism atât în musculatura atrială, cât și în cea ventriculară, care pot genera ritmuri patologice (extrasistole, etc.).

Rețineți



În cordul uman există trei centre de automatism ierarhizați funcțional care pot întreține activitatea inimii. Nodulul sinoatrial reprezintă pace-makerul fiziologic al inimii. Ceilalți doi centre sunt de rezervă, potențiali, ei preiau comanda inimii numai în situații patologice.

Explicația electrofiziologică a automatismului cardiac constă în *prezența fenomenului de depolarizare spontană, lentă diastolică sau potențial pacemaker*, întâlnit numai la celulele dotate cu automatism (pacemaker). Acest fenomen se datorează instabilității potențialului de repaus,

care odată refăcut nu se păstrează și începe imediat o depolarizare spontană, ca urmare a *influxului ionilor de sodiu și de calciu și a efluxului de potasiu*. Astfel se produce o depolarizare lentă, spontană, până se atinge nivelul potențialului prag (nivel critic, de declanșare, prag de excitație), moment în care se declanșează potențialul de acțiune. La celulele NSA, potențialul de repaus este inconstant, panta de depolarizare (0) este lentă, potențialul de acțiune are amplitudine mai mică decât al altor celule P sau cel de la fibra miocardică adultă, nu are spike, vârful fiind rotunjit, nu prezintă faza de platou caracteristică fibrei miocardice de tip adult iar durata PA este mai mică decât la fibra miocardică adultă (figura 1.3.).

Studii realizate prin metoda patch clamp voltage pe celule sinoatriale izolate au demonstrat că activitatea de pacemaker se datorează interacțiunii mai multor mecanisme ionice:

- diminuarea efluxului de K^+ din celulă și creșterea lentă a influxului de Na^+ și de Ca^{2+} . Celulele P de la acest nivel au foarte puține canale rapide de Na^+ și de Ca^{2+} , predominând cele lente.
- prezența în cantitate mare a adenilatciclazei în celulele P, mai ales în cele ale nodulului sinoatrial permite modularea directă a funcției cronotrope prin influențarea cantității de cAMP de către neurotransmițători ca adrenalina și acetilcolina.

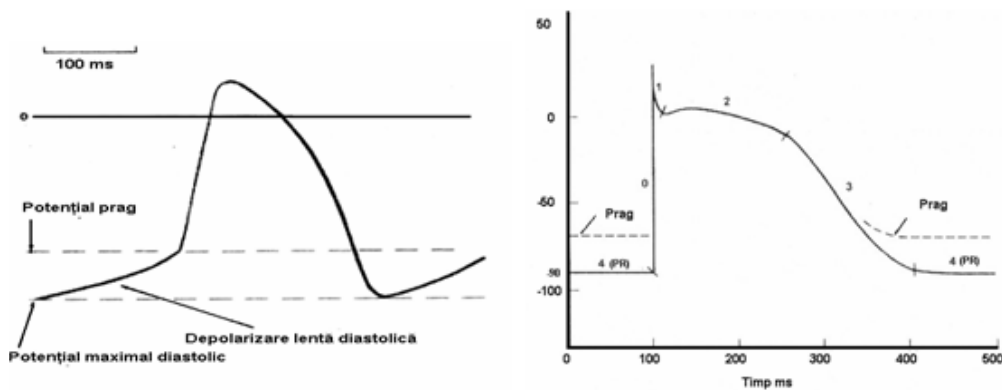


Figura 1.3. Potențialul de acțiune la nivelul NSA și la fibra miocardică contractilă

Conductibilitatea (funcția dromotropă, dromotropismul)

Stimulul elaborat la nivelul nodului sinoatrial, este condus într-o anumită secvență, la întreaga musculatură. Există o conducere specifică prin sistemul excitoconductor, cu viteză mare și o conducere nespecifică, de la o fibră musculară contractilă la alta cu viteză mică. De la nodulul sinoatrial stimulul se propagă către nodulul atrioventricular pe două căi, rapid prin tracturile internodale (sistemul specific) și mai lent prin musculatura atrială contractilă (conducere nespecifică).

La nivelul nodulului atrioventricular viteza de propagare scade mult, astfel că stimulul suferă o întârziere (de 100-200ms) la acest nivel, necesară:

- desincronizării activității atriale față de cea ventriculară, care asigură o bună umplere cu sânge a ventriculilor;
- pentru protecția miocardului ventricular, aflat în perioada refractară relativă împotriva transmiterii unei depolarizări atriale;
- pentru prevenirea transmiterii tuturor stimulilor atriali în caz de fibrilație atrială sau flutter atrial.

Exact în momentul în care sistola atrială se termină, stimulul pătrunde în fasciculul His și ramurile sale cu o viteză foarte mare (4-5 m/sec), apoi prin rețeaua Purkinje, adânc în masa miocardului

ventricular contractil. La nivelul discurilor intercalare, zonă de rezistență electrică minimă, stimulul se propagă de la o celulă la alta, procesul excitației cuprinzând întreaga masă miocardică, astfel că putem considera miocardul un sincițiu funcțional.

În situații patologice conducerea stimulului este perturbată, fie în sensul:

- **conducerii accelerate**, prin prezența fasciculelor aberante, care, fie ocolesc NSA, fie scurtează drumul dintre NSA și NAV: fasciculele Kent, Mahaim, James, care constituie baza anatomică a sindroamelor de preexcitație: sindromul Wolf-Parkinson-White și sindromul Lown-Ganong-Levine.
- **încetării sau blocării transmisiei** la un anumit nivel (blocuri). În patologia umană există mai multe tipuri de blocuri: blocul sinoatrial când este blocată transmiterea stimulului din nodul sinoatrial către atri, blocuri atrioventriculare când blocajul se produce la nivelul nodulului atrioventricular și blocuri de ramură când sunt blocate ramurile sau subramificațiile fasciculului His (vezi cursul)

Excitabilitatea (funcția batmotropă)

Este proprietatea miocardului de a răspunde la un stimul care a atins nivelul prag, Excitabilitatea este o funcție a membranei celular excitabilă, fiind condiționată de existența potențialului membranar. Generarea stimulului la nivelul celulelor pacemaker din nodulul sinoatrial sau ceilalți centri, este rezultatul depolarizării spontane diastolice a acestor celule, așa cum s-a mai precizat, urmată de apariția potențialului de acțiune. Excitația care ia naștere în aceste celule sub forma unei de depolarizare, se propagă rapid, exploziv și maximal în întreg țesutul funcțional miocardic. Pentru ca un excitant să determine starea de excitabilitate el trebuie să aibă o anumită intensitate, să acționeze un anumit timp și să fie suficient de brusc, ca să nu determine acomodarea la excitant. După intensitate, excitantul poate fi:

- *subliminal*, (sub prag) care determină numai o depolarizare strict locală, neurmată de depolarizarea generală a celulei;
- excitant prag sau *liminal* care atingând nivelul critic de declanșare (NCD) determină depolarizarea generală a celulei și apariția potențialului de acțiune;
- excitant *supraliminal* cu o intensitate mai mare decât pragul.

Miocardul de tip adult are următoarele **particularități ale excitabilității**:

- miocardul este un sincițiu morfo-funcțional;
- miocardul respectă legea "tot sau nimic";
- miocardul respectă legea "excitabilității și inexcitabilității periodice" a lui Marey;
- miocardul respectă legea conservării perioadei de excitație a lui Engelmann;
- contracția miocardului este întotdeauna o secusă, miocardul nu se tetanizează.

Legea inexcitabilității periodice a inimii, legea MAREY (1876) arată că în timpul sistolei miocardul este inexcitabil, este refractar la stimuli; excitabilitatea re apare către sfârșitul sistolei și se reface complet în diastolă. Deci sistola este perioada inexcitabilă a inimii, iar diastola este perioada excitabilă.

Inexcitabilitatea periodică a inimii este rezultatul relației care există între fenomenul electric (potențialul de acțiune) și fenomenul mecanic (contracția mușchiului cardiac, sistola), ambele fenomene debutează aproape în același timp (cel mecanic cu o mică întârziere de 20 ms) și au o durată aproximativ egală (figura 1.4.). Rezultă că un stimul aplicat în timpul contracției cade în perioada refractară absolută a potențialului de acțiune (PRA) și nu este urmat de răspuns. Răspunsul apare la sfârșitul sistolei, în perioada refractară relativă (PRR), printr-o contracție numită extrasistolă.

Suprapunerea în timp a fenomenului electric și mecanic face imposibilă apariția contracțiilor de tip tetanic la nivelul miocardului.

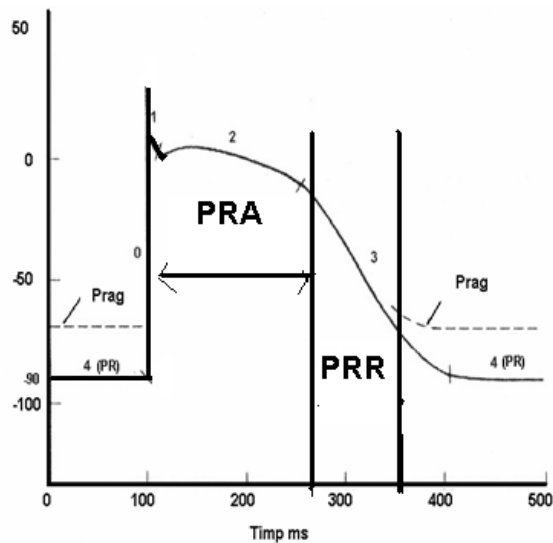


Figura 1.4. Potențialul de acțiune și perioadele de excitabilitate ale mușchiului cardiac.

După: Sherwood, L., 2008. Human Physiology, modificat.

Contractilitatea (funcția inotropă) Unda de depolarizare ajunsă la fibrele miocardice contractile induce contracția acestora. Datorită structurii și compoziției chimice particulare, contracția mușchiului cardiac ocupă o situație intermediară între contracția mușchiului striat scheletic și contracția mușchiului neted. Durata mare a contracției mușchiului cardiac îl apropie de mușchiul neted, iar forța de contracție mare îl apropie de mușchiul scheletic.

Contracția mușchiului cardiac este o secusă și spre deosebire de mușchiul scheletic, mușchiul cardiac nu intră în contracție tetanică. Explicația electrofiziologică a acestui fenomen se regăsește în relația existentă între fenomenul electric (potențialul de acțiune) și fenomenul mecanic (contracția), diferită la miocard față de mușchiul scheletic

La mușchiul cardiac fenomenul electric și cel mecanic debutează și se desfășoară aproximativ paralel (potențialul de acțiune având un platou de lungă durată) și ca urmare răspunsul la un nou stimul apare numai după epuizarea primei contracții, evitându-se astfel fenomenul de sumare a contracțiilor. La mușchiul scheletic durata mică a potențialului de acțiune și deci a perioadei refractare, comparativ cu durata relativ mare a contracției, permite apariția unor noi contracții, sumarea acestora, rezultând contracția tetanică (figura 1.5.).

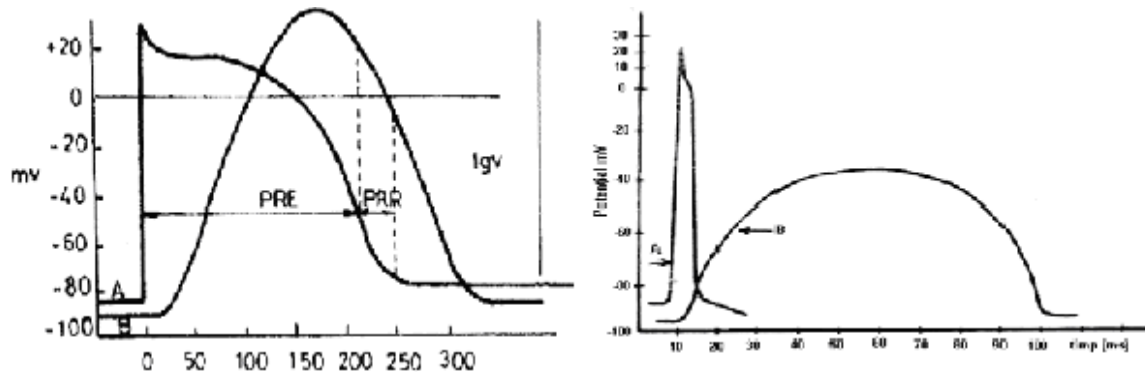


Figura 1.5. Corelația fenomenelor electrice cu cele mecanice (contracția) la fibra miocardică și la fibra musculară scheletică. Sursa:

http://www.bio.miami.edu/tom/courses/bil360/bil360goods/16_muscle.html, modificat

Tonicitatea (funcția tonotropă)

Tonusul mușchiului cardiac se deosebește de tonusul musculaturii striate sau netede, ceea ce a pus în discuție existența acestei proprietăți. Se definește ca starea de semicontrakție care se păstrează în diastolă sau starea de contracție în momentul în care se declanșează excitația. Alți autori definesc tonusul ca fiind capacitatea de contracție a mușchiului cardiac care depinde de condițiile metabolice și electrolitice de moment. Persistă după denervarea inimii, ceea ce arată natura intrinsecă, miogenă a acestei proprietăți.



Rețineți

Proprietățile funcționale, fundamentale ale miocardului sunt:

- pentru miocardul *embrionar*: automatismul, excitabilitatea și conductibilitatea;
 - pentru miocardul *contractil*: excitabilitatea, contractilitatea, conductibilitatea și tonicitatea.
-



Studiu individual

1. Utilizând un dicționar medical sau alte materiale de documentare explicați înțelesul următorilor termeni: automatism, noduli, efect cronotrop pozitiv/negativ, efect inotrop pozitiv/negativ, perioadă refractară, extrasistolă, focar ectopic, conducere ephaptică, potențial de repaus, potențial de acțiune, potențial prag sau alți termeni pe care îi întâlniți în text și nu îi cunoașteți
2. Argumentați, în limita nivelului de informații pe care le aveți în acest moment de ce este important să cunoaștem fiziologia sistemului cardio-vascular.

FIȘĂ DE LUCRU ÎN LABORATOR

1. Indicați câte cavități are cordul uman și cum sunt ele separate.

.....

2. Explicați care este rolul major al cordului.

.....

3. Precizați care sunt tipurile morfologice și funcționale de miocard și care sunt proprietățile lor.

.....

4. Desenați pe caiete și descrieți mica circulație. Precizați cum se mai numește și ce rol are.

.....

5. Desenați pe caiete și descrieți marea circulație. Precizați cum se mai numește și ce rol are.

.....

6. Precizați care sunt centrii de automatism cardiac la om, unde se găsesc și ce ritmuri generează.

.....

7. Desenați o inimă umană (cu cele 4 cavități). Pe acest desen plasați centrii de automatism.

.....

8. Indicați care este centrul principal de automatism al cordului uman, unde se găsește, cu ce frecvență emite și cum se numește ritmul generat.

.....

9. Indicați care sunt centrii potențiali de automatism din cordul uman, când intră în activitate și cum se numesc ritmurile generate.

.....

10. Descrieți nodulul atrioventricular: unde este situat, ce rol are în condiții fiziologice, ce rol are în condiții patologice?

.....

11. Descrieți rolurile fasciculului His și al rețelei Purkinje în condiții fiziologice și patologice

.....

12. Definiți automatismul. Cum se numește funcția corespunzătoare?

.....

13. Definiți dromotropismul și descrieți care este efectul stimulării SN vegetativ parasimpatic și simpatic asupra funcției dromotrope.

.....

14. Definiți legea "tot sau nimic"

.....

15. Precizați care este frecvența de generare a stimulilor pentru ritmul sinusal. Explicați dacă această frecvență are vreo legătură cu frecvența cardiacă.

.....

16. Precizați care este frecvența de generare a stimulilor pentru ritmul nodal. Explicați în ce condiții apare acest ritm.

.....

17. Precizați care este frecvența de generare a stimulilor pentru ritmul idioventricular. Explicați în ce condiții apare acest ritm și care este consecința apariției lui asupra stării de sănătate a unui individ.

.....

18. Explicați care sunt consecințele întârzierii stimulului în NAV

.....

19. Enumerați particularitățile excitabilității miocardului.

.....

20. Explicați inexcitabilitatea periodică a inimii

.....

21. Desenați și explicați relația dintre fenomenul electric și cel mecanic la miocard. Descrieți consecințele acestei relații

.....